

УДК 620.22; 669.715

В. А. Фролов*, О. В. Якивчук, В. Ф. Фролов, Д. С. Ворошилов

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

ООО «РУСАЛ ИТЦ», г. Красноярск

**kafomd_1@mail.ru*

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук С.Б. Сидельников

СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, ЭКОНОМНО ЛЕГИРОВАННЫХ СКАНДИЕМ, ПОСЛЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО И ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Приведены результаты исследований прочностных и пластических свойств прокатанных полос из экспериментальных алюминиевых сплавов, содержащих различное количество скандия. Получены зависимости механических свойств новых сплавов от химического состава сплавов, степени деформации при горячей и холодной прокатке, температуры отжига. Установлено, что наиболее близкими к требуемым свойствами обладает сплав с содержанием скандия 0,14 %.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, скандий, прокатка, отжиг, механические испытания, временное сопротивление разрыву, относительное удлинение.

V. A. Frolov, O. V. Yakiv'yuk, V. F. Frolov, D. S. Voroshilov

PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOYS DOPED WITH SCANDIUM ECONOMICALLY, AFTER DEFORMATION AND THERMAL EFFECTS

Strength and plastic properties research results of rolled strips from experimental aluminium alloys that containing different amounts of scandium represented. Dependences of mechanical properties for new alloys from chemical composition of alloys, deformation degree during hot and cold rolling, temperature of annealing were obtained. Determined that closest to the required properties has alloy containing 0,14 % of scandium.

Keywords: aluminium alloys, scandium, rolling, annealing, mechanical tests, tensile strength, relative extension.

В рамках совместной научно-исследовательской работы с ООО «РУСАЛ ИТЦ» на базе сплава 5083 (сплав 0) были изготовлены 8 экспериментальных сплавов (сплавы 1–8) с различным содержанием легирующих элементов Mg, Cr, Zr, Mn, Fe и Sc, которые оказывают существенное влияние на механические свойства и коррозионную стойкость изделий из них. Известно, что малые добавки скандия значительно повышают уровень прочности магналиев без снижения технологичности при обработке металлов давлением [1–7]. Однако для

достижения такого эффекта содержание скандия в сплаве должно соответствовать 0,2–0,45 %.

При изготовлении опытных сплавов было уменьшено содержание дорогостоящего скандия (до 0,10–0,15 %) за счет дополнительного введения в сплавы циркония (до 0,15–0,20 %). Сплавы также различались по содержанию Mn и Cr. Первая партия слитков была изготовлена с повышенным содержанием Mn и Cr, вторая – на 25% ниже по содержанию Mn и Cr в сравнении с первой партией. Плоские слитки опытных сплавов подвергали двухступенчатому отжигу-гомогенизации по режиму: 1-я ступень – температура 350 °С, выдержка 14 ч; 2-я ступень – 425 °С, выдержка 9 ч и охлаждение на воздухе.

В соответствии с техническим заданием и требуемым уровнем свойств были спроектированы и реализованы режимы горячей и холодной прокатки и определены механические свойства прокатанных образцов новых экспериментальных сплавов [8].

Методика исследований состояла в следующем. Слитки опытных сплавов после гомогенизации подвергали механической обработке до толщины 28 мм. По рассчитанным маршрутам при температуре 450 °С проводили горячую прокатку слитков опытных сплавов на прокатном стане ДУО 160 до толщины заготовок 10 и 5 мм. Далее прокатывали каждую из полученных заготовок на прокатном стане MDM ARIETE LS до толщины 3 и 1 мм. Таким образом, отработывали следующие схемы холодной прокатки: 10–1; 10–3; 5–1; 5–3. После прокатки полосы отжигали по двум режимам при температуре 300 и 350° в течение 3 ч. На каждом из технологических переделов отбирали темплеты и изготавливали из них образцы для механических испытаний. Образцы маркировали, где последовательно указывали номер сплава, номер партии и схему прокатки. Например, маркировка 1–1/10–1 означала, что прокатывали первый сплав первой партии с 10 мм до 1 мм.

Исследования прочностных и пластических свойств образцов опытных сплавов проводили на испытательной машине LFM400 (Швейцария) усилием 400 кН методом растяжения стандартных образцов. При этом определяли временное сопротивление разрыву, предел текучести и относительное удлинение. Длину рабочего участка выбирали 25 и 50 мм в зависимости от размеров образца.

Результаты исследований свойств образцов в литом (Л), горячекатаном (ГП) и холоднокатаном (при различной степени деформации ϵ) состояниях приведены в табл. 1, а свойства конечных продуктов прокатки (отожженных полос толщиной 1 мм) – в табл. 2.

Таблица 1

Механические характеристики образцов опытных сплавов

Номер образца	σ_B , МПа					δ , %				
	Л	ГП	ε , %			Л	ГП	ε , %		
			40	60	80			40	60	80
0-1/5-1	527	361	421	460	497	10,7	13,4	8,4	6,9	4,4
1-1/10-1	301	326	437	458	520	7,1	7,6	6,0	5,2	4,2
2-2/5-1	270	354	446	479	554	6,1	12,5	9,3	6,7	5,0
3-2/5-1	272	373	467	480	494	5,7	12,2	8,3	7,0	4,2
4-2/5-1	266	371	464	474	510	3,7	21,2	9,4	7,2	5,0
5-2/5-1	234	380	467	490	533	4,8	10,6	6,3	5,0	4,5
6-2/5-1	274	350	438	470	494	8,9	11,2	7,0	6,4	4,8
7-1/10-1	312	346	437	505	520	10,0	11,0	5,0	4,5	4,0
8-2/5-1	257	380	467	490	533	1,9	8,0	6,3	5,0	4,5

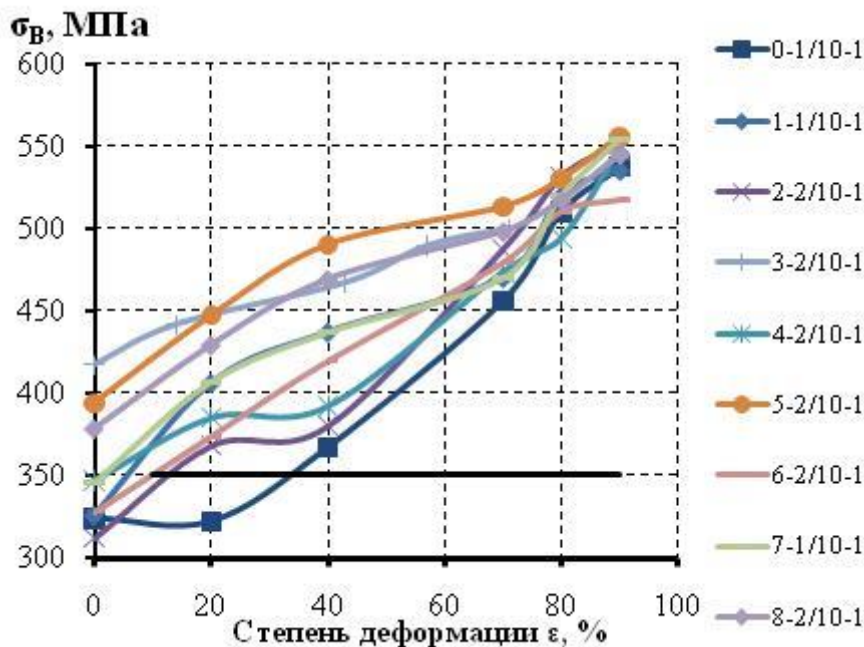
Таблица 2

Результаты исследований свойств прокатанных полос толщиной 1 мм
после отжига

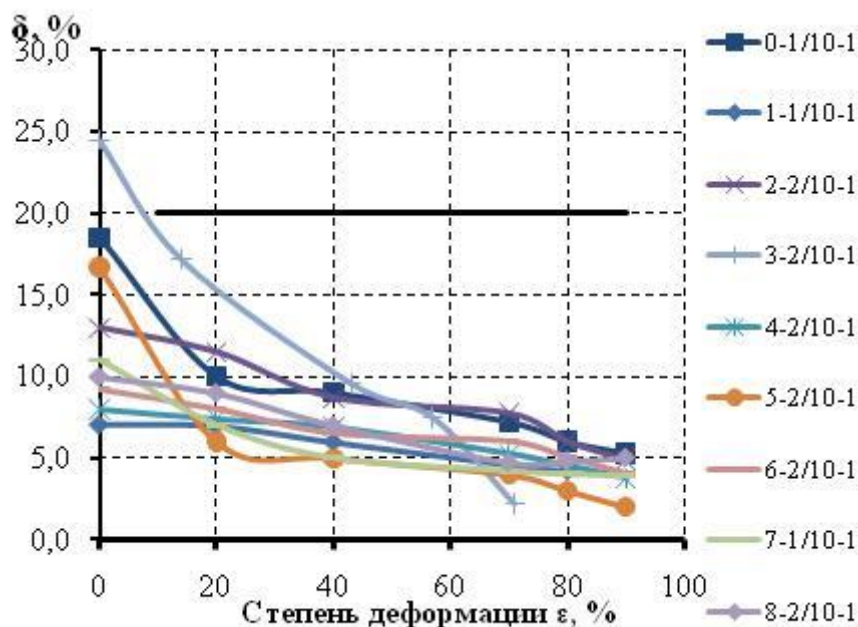
Номер образца	Временное сопротивление разрыву, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Рабочая длина, мм	Параметры термообработки, °С
0-1/5-1	342	187	22,6	25	300°, 3
1-1/10-1	434	357	16,3	25	300°, 3
2-2/10-1	407	261	21,2	25	300°, 3
2-2/10-1	392	227	24,8	25	350°, 3
3-2/5-1	405	317	9,8	25	300°, 3
3-2/5-1	415	308	8,0	50	350°, 3
4-2/10-1	462	271	12,0	25	300°, 3
4-2/10-1	440	264	18,8	25	350°, 3
4-2/5-1	430	348	8,0	50	300°, 3
4-2/5-1	402	311	9,6	50	350°, 3
5-2/10-1	423	288	12,6	25	300°, 3
5-2/10-1	423	336	10,2	50	350°, 3
5-2/5-1	457	373	9,0	50	300°, 3
5-2/5-1	446	344	11,4	50	350°, 3
6-2/10-1	362	248	14,3	25	300°, 3
6-2/5-1	366	256	14,0	50	300°, 3
6-2/5-1	346	236	18,8	50	350°, 3
7-1/10-1	425	282	14,8	25	300°, 3
8-2/10-1	387	298	9,2	25	300°, 3
8-2/10-1	432	313	10,0	50	350°, 3
8-2/5-1	453	368	8,8	50	300°, 3
8-2/5-1	446	346	11,2	50	350°, 3

Их анализ показывает, что уровень свойств для опытных сплавов, содержащих скандий (1, 3, 4, 5, 6, 7, 8), по относительному удлинению находится в диапазоне 8–25 %, а по пределу текучести 256–373 МПа.

Изменение механических свойств полос опытных сплавов после холодной прокатки по переходам показано на рисунке.



a



б

Механические характеристики образцов после холодной прокатки заготовок толщиной 10 мм в полосы толщиной 1 мм: *a* – временное сопротивление разрыву, МПа; *б* – относительное удлинение, %

На основе результатов проведенных исследований технологичности при прокатке и уровня механических характеристик для дальнейшего изучения структуры, коррозионных и эксплуатационных свойств проката из экспериментальных сплавов был рекомендован сплав 5, содержащий 0,14 % скандия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние скандия на физико-химические свойства сплава АМг4 / С. Ж. Иброхимов [и др.] // Изв. Самарского науч. центра Рос. акад. наук. 2014. Т. 16, № 4. С. 256–260.
2. Иброхимов С. Ж., Эшов Б. Б., Ганиев И. Н. Окисление твердого алюминиево-магниевого сплава АМг4, легированного скандием // Докл. Акад. наук республики Таджикистан. 2013. Т. 56, № 6. С. 472–475.
3. Филатов Ю.А. Исследование и разработка новых высокопрочных свариваемых сплавов на основе системы Al–Mg–Sc и технологических параметров производства из них деформированных полуфабрикатов // Автореферат дис. д-ра техн. наук. М., 2000. 50 с.
4. Температурная зависимость теплоемкости сплава АК1М2, легированного редкоземельными металлами / З. Низомов [и др.] // Докл. акад. наук республики Таджикистан. 2011. Т. 54, № 11. С. 917–921.
5. Бадурдинов С.Т., Ганиев И. Н., Бердиев А. Э. Потенциодинамическое исследование сплава АК12, легированного скандием, в среде электролита NaCl // Докл. акад. наук республики Таджикистан. 2011. Т. 54, № 6. С. 485–488.
6. О характере взаимодействия скандия с алюминием в богатой алюминием части системы. / М. Е. Дриц [и др.] // Изв. АН СССР. 1973. № 4. С. 213–217.
7. Особенности формирования структуры и свойств литейных Al–Mg-сплавов, легированных скандием / Г.М. Кузнецов [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. ВИАМ. 1996. №6.
8. Фролов В. А. Исследование механических свойств полуфабрикатов из алюминиевых сплавов, экономно легированных скандием // Инновационные процессы обработки металлов давлением: материалы II междунар. науч.-практич. конф. / под ред. М. В. Чукина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2016. С. 23–24.